

# 콘크리트의 조기강도 발현특성에 관한 연구

## A Study on Properties of Early Strength Development of the Concrete

강창운\* 이재삼\* 김정식\* 성용환\* 류득현\*  
Kang, Chang Woon Lee, Jae Sam Kim, Jung Sik Sung, Yong Hwan Ryu, Deug Hyun

---

### ABSTRACT

Recently, due to the increase of high-rise buildings construction, many researches for making harden of concrete earlier and remove of forms faster are being performed to reduce construction period. The purpose of this study is to analysis which mixing condition and curing temperature of early strength concrete. Porperties of concrete by the different factors, such as the type of active admixtures, mineral admixtures, curing temperature, the amount of binder, etc. Through the test of concrete using the different type of admixture, PC type was more excellent than PNS type admixture. The concrete Strength remarkably will be able to confirm that decreases from temperature below 12°C.

### 요약

본 연구는 콘크리트의 조기강도 발현을 위한 배합적 설계조건 및 온도조건에 대한 강도특성을 분석하는데 목적이 있다. 혼화제, 혼화재, 양생온도, 결합재 사용량 등의 시험인자들을 변수로 하여 실내 시험을 통해 확보한 Data를 토대로 레미콘 배치플랜트 생산시험 및 모의부재 제작을 통해 현장적용성을 검토해 보았다. 혼화제는 감수율이 우수한 PC계 혼화제의 조기강도 발현이 양호하였으며, 제조사별 품질특성에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 플라이애시, 고로슬래그미분말 등의 혼화재를 사용할 경우 물성개선의 효과는 있을 수 있으나 조기강도 발현에는 불리함을 확인할 수 있었다. 여러 가지 시험인자 중 콘크리트의 조기강도에 가장 큰 영향을 미치는 것이 양생온도이며, 12°C이하의 온도에서는 강도발현이 급격하게 저하됨을 확인할 수 있었다. 계절별 평균기온을 감안해 볼 때 10월 하순~4월말까지는 보온양생을 통한 온도관리가 필요할 것으로 예상되었다. 모의부재 시험을 통한 수화열 측정결과 부재치수의 증가에 따른 수화발열의 축진으로 조기강도 발현이 상대적으로 우수하였으며, 적산온도를 이용한 조기강도 예측결과 상관성이 높게 나타나고 있어 현장에서 거푸집 제거시기를 결정할 경우 유용하게 활용될 것으로 판단되었다.

---

\* 정회원, 콘크리트기술발전연구회 회원

## 1. 서론

최근 건축구조물의 대형화, 고층화, 고강도화가 확산됨에 따라 이에 부응하는 콘크리트의 다기능성이 요구되고 있다. 특히, 구조체의 시공품질 확보 및 공기단축을 위한 시스템거푸집의 사용은 거푸집 탈형시기가 일반 거푸집과 비교하여 상대적으로 빠르기 때문에 콘크리트의 조기강도 발현이 필연적으로 요구되고 있다. 콘크리트에 있어 5MPa 강도발현 시점은 관련 법규의 충족과 건설공기의 단축에 매우 중요한 요소이며, 지금까지 많은 연구와 현장적용 시도가 있었다. 하지만 계절별 온도변화가 뚜렷한 국내의 기후 여건을 감안할 때 대기온도의 지배적인 영향을 받을 수 밖에 없으며, 기존의 부배합 출하 및 혼화제에 의존한 방법들은 비경제성 문제와 동질기 양생온도의 한계로 실용화되지 못했다. 따라서, 본 연구에서는 콘크리트의 조기강도 발현을 위한 여러 가지 시험인자별 배합시험을 통한 표준 배합을 설정하고 강도예측 방법으로 적산온도 방식을 도입하여 거푸집 제거시기의 정량적 판단기준을 마련하는 기초 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구에서는 건설공정 목표에 따른 콘크리트의 조기강도 요구수준을 표 1과 같이 설정하였으며, 콘크리트의 유동특성 및 조기강도 발현특성을 평가하기 위해 표 2에 나타난 바와 같이 시멘트 2수준과 혼화제를 품종 및 제조사별로 설정하였으며, 혼화제 2수준에 대한 평가를 실시하였다. 이를 통해 조기강도 콘크리트의 최적 배합조건을 선정하여 W/C비를 39, 42, 45%로 구분하여 양생온도 10, 12, 15, 20℃에서 양생한 후 소정의 재령에서 평가하였다. 또한, 현장적용성 평가를 위한 배치플랜트 생산시험 및 Mock-up부재 제작을 통해 수화열에 의한 적산온도와 강도와의 관계를 검토하여 강도예측성을 검토하였다

표 1. 콘크리트 조기강도 목표성능

건설공정	콘크리트 물성		요구강도(MPa)	
	Slump(mm)	Air(%)	수직부재	수평부재
4일	180±25	4.5±1.5	5MPa/18hr	14MPa/36hr
6일			5MPa/36hr	14MPa/66hr

표 2. 실험계획

실험인자	실험조건	측정항목
시멘트	1종(OPC)	· Slump - 0, 60분 · Air - 0, 60분 · 압축강도 - 12, 18, 24, 36, 42, 66hr
혼화제	· 품종 - PC, PNS · 제조사 - 6수준	
혼화제	플라이애시(F/A), 고로슬래그미분말(S/P)	
W/C비(%)	45, 42, 39	
양생온도(℃)	10, 12, 15, 20	

### 2.2 실험재료

시멘트는 S사 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔골재는 세척사와 부순모래를 각각 50%씩 혼합하여 사용하였으며, 굵은 골재는 최대크기 25mm의 부순골재를 사용하였다. 혼화제는 비교시험을 거쳐 선정된 F사 폴리카르본산계(PC계) 혼화제를 사용하였다.

### 2.3 실험방법

본 실험에서 실시한 슬럼프 및 공기량시험은 KS F 2402와 KS F 2421에 준하여 실시하였으며, 공시체의 양생은 온도조절이 가능한 Chamber에서 소정의 재령까지 양생한 후 KS F 2405에 준하여 강도를 측정하였다. Mock-up부재는 실제의 구조체와 유사한 모의부재를 묘사하고자 그림 1과 같이 제작하여 수화열을 측정하였으며, 코어채취와 공시체 강도시험을 병행하였다.

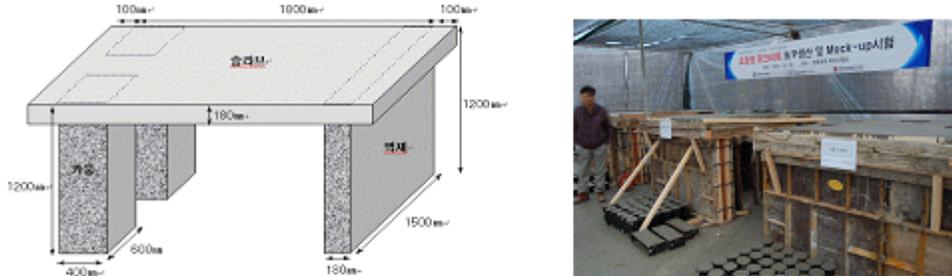


그림 1. Mock-up부재 모형 및 제작

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 혼화재료와 강도와의 관계

그림 2에서 보는바와 같이 혼화제 품종별 시험결과 PC계 혼화제가 PNS계 대비 조기강도발현에 유리한 것으로 나타났으며, 제조사별 품질편차가 있는 것으로 나타났다. 플라이애시 및 고로슬래그미분말의 사용은 초기 수화반응의 지연으로 조기강도 발현에는 불리한 것으로 나타났다.

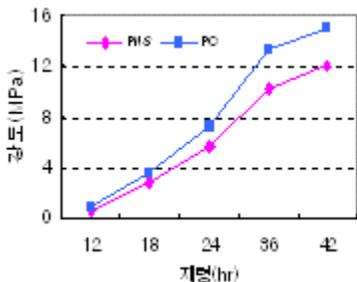


그림 2. 혼화제 품종별 시험결과

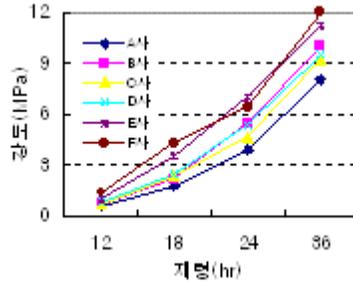


그림 3. 혼화제 제조사별 시험결과

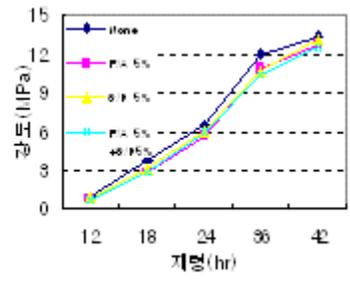


그림 4. 혼화제 치환율별 시험결과

### 3.2 양생온도와 강도와의 관계

양생온도에 따른 조기강도 측정결과를 그림 5에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 콘크리트의 조기강도는 양생온도의 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 5MPa/18hr 강도발현을 위해서는 W/C 42%이하, 양생온도 15°C이상의 조건이 필요한 것으로 나타났다.

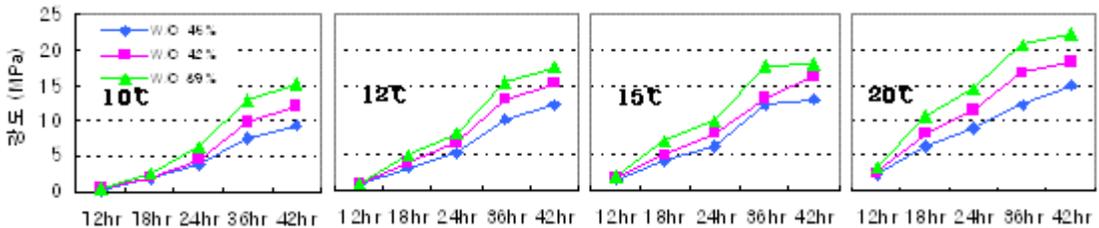


그림 5. 양생온도별 강도측정 결과

### 3.3 콘크리트 수화열과 강도와와의 관계

그림 6은 Mock-up부재의 수화열을 측정할 값으로 부재의 크기가 클수록 수화온도의 상승이 빠르게 나타남을 알 수 있다. 이는 기존의 실내배합시험에서 측정할 값보다 실구조물이 조기강도 발현에 유리하다고 할 수 있을 것이다. 그림 7은 Mock-up부재의 코어시험체와 10∅공시체를 비교한 것으로 코어 시험체의 강도가 다소 높음을 알 수 있다.

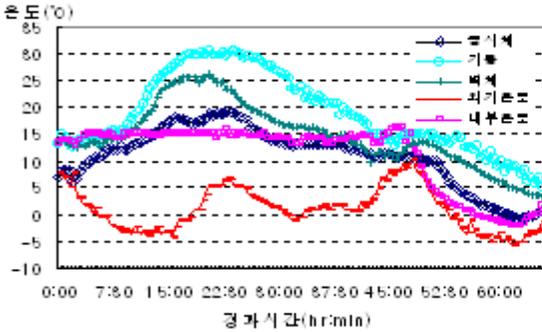


그림 6. 수화열 측정결과

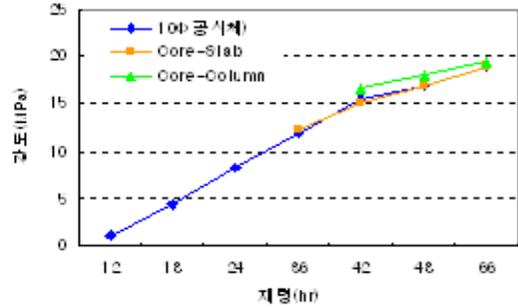


그림 7. Mock-up부재 압축강도 측정결과

### 3.4 압축강도와 적산온도의 관계

양생온도별 압축강도 결과를 바탕으로 임의 재령에서 강도를 예측하기 위하여 Plowman 예측식을 활용한 적산온도 추정식을 그림 8에 나타냈으며, 결정계수  $R^2$ 의 값이 0.99이상으로 높은 상관성을 보이고 있다. 이 추정식을 이용하면 거푸집 탈형 시간의 예측에 유용하게 사용될 것으로 보인다.

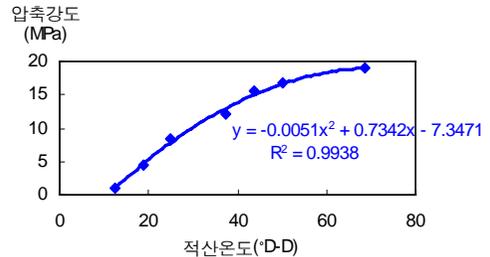


그림 8. Mock-up부재 압축강도 측정결과

## 4. 결론

콘크리트의 조기강도에 관한 실내배합시험 및 모의부재 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PNS계보다 감수율이 높은 PC계 혼화제가 조기강도 발현이 우수하였으며, 혼화제의 사용은 조기강도 발현에는 불리한 것으로 나타났다.
- 2) OPC배합에서 압축강도 5MPa/18hr 강도발현을 위해서는 W/C비 42%이하, 15°C 이상의 보온양생이 필요한 것으로 나타났으며, 양생온도 12°C 이하에서는 조기강도가 급속하게 저하되는 것으로 나타났다.
- 3) 실구조물에서의 조기강도는 수화열에 의한 온도상승으로 공시체강도보다 우수하게 측정되었으며, 부재의 치수가 클수록, 수평부재보다는 수직부재의 강도발현이 빠른 것으로 나타났다.

### 참고문헌

1. 류종현, 전현규, “콘크리트 조기강도 발현방법에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 봄 학술대회 논문집 Vol. 20. NO. 1 pp.681~684, 2008. 4
2. 김무한외, “시스템 거푸집 적용을 위한 고강도콘크리트의 양생온도별 조기강도 발현성상“, 콘크리트학회 논문집 제13권 6호, 2001. 12